

# Trabajo Fin de Grado

Economía y medio ambiente

La curva de Kuznets ambiental: El caso de España

Autor/es

Sergio Castellote Marín

Director/es

Jesús Mur Lacambra

Majed Atwi Saab

Facultad de Economía y Empresa

2020

## **1. RESUMEN**

En el presente estudio se procede a analizar la curva de Kuznets ambiental (CKA), la cual establece una relación entre el crecimiento económico con un aumento de los gases de efecto invernadero, particularmente el caso de España.

Para ello se realiza un análisis de la literatura publicada sobre la curva con el fin de entender los fundamentos teóricos que la explican como el nivel y la distribución de ingresos, el tipo de modelo y sectores productivos del país, así como la legislación tanto a nivel nacional como europeo y los acuerdos alcanzados con estos países.

Para la realización del caso de estudio particular, se seleccionan una serie de datos temporal que comprende desde 1971 a 2017 ambos incluidos. Se descomponen las emisiones de CO<sub>2</sub>, el producto interior bruto, la población y como ha sido la evolución de dichas variables a lo largo de la serie temporal.

Se plantea un modelo econométrico teniendo en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub>, el PIB per cápita además del consumo eléctrico y la producción de energía renovable, como variables de control útiles para determinar el modelo. Tras realizar los contrastes oportunos y a pesar de que España si cumple con ciertos requisitos económicos y sociales, no se puede asegurar una evidencia empírica de que la curva de Kuznets adquiera la forma de U invertida. Las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan de forma proporcional al PIB.

## **ABSTRACT**

In this research it is analyzed the Environmental Kuznets Curve (EKC), which establish a relationship between economic growth and the rise of greenhouse gases, focusing particularly on CO<sub>2</sub> emissions in Spain.

In order to develop the paper, it is done a depth analysis of the literature published about the curve with the aim of understanding theoretical foundations as the level and distribution of income, type and model of the productive sectors, and legislation at national level as European and the agreements achieved with its countries.

To develop the particular case study, it is selected a time series data from 1971 to 2017. CO<sub>2</sub> emissions are discomposed, GDP data and population evolution are also analyzed along the time series data.

It is raised an econometric model taking into account CO<sub>2</sub> emissions, GDP per capita, electric consume and renewable energy production, that will be quite useful as control variables to determine the model.

After doing the appropriate contrast and although Spain fulfill with some social and economical requirements, it could not be ensured as empirical evidence that the Kuznets curve take the shape of inverted U. CO<sub>2</sub> emissions will rise its levels in the same path as GDP.

## Tabla de contenido

1. RESUMEN .....	2
ABSTRACT .....	2
Tabla de tablas .....	5
Tabla de ilustraciones.....	5
2. FACTORES EXPLICATIVOS DE LA CURVA DE KUZNETS.....	6
2.1 La elasticidad ingreso de la demanda de la calidad ambiental.....	6
2.2 Distribución de ingresos.....	7
2.3 Efectos de composición tecnología y escala .....	8
2.4 Efectos del comercio .....	10
2.5 Acuerdos comerciales .....	11
2.6 Relevancia de los resultados de la EKC. ....	12
2.7 Marco institucional .....	13
2.8 Conclusiones.....	13
3. CASO DE ESTUDIO: ESPAÑA .....	15
3.1. Emisiones de CO <sub>2</sub> de la combustión de combustibles fósiles.....	15
3.2. Población.....	23
3.3 Políticas de cambio climático en la Unión Europea. ....	26
4. ANALISIS ECONOMETRICO CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL.....	28
5. CONCLUSIONES .....	35
Anexo .....	37
Bibliografía .....	47

## Tabla de tablas

Tabla 1. Estadísticos básicos de las emisiones de CO <sub>2</sub> : 1971-2017.....	15
Tabla 2. Estadísticos básicos de las emisiones de CO <sub>2</sub> por carbón: 1971-2017.....	16
Tabla 3. Estadísticos básicos de las emisiones de CO <sub>2</sub> por petróleo: 1971-2017.....	16
Tabla 4. Estadísticos básicos de las emisiones de CO <sub>2</sub> por gas: 1971-2017.....	16
Tabla 5. Emisiones de CO <sub>2</sub> por sectores: 2017.....	18
Tabla 6. Estadísticos básicos del suministro total de energía primaria: 1971-2017.....	19
Tabla 7. Relación emisiones de CO <sub>2</sub> con el suministro de energía primaria: 1971-2017.....	19
Tabla 8. Estadísticos básicos del PIB usando ratios de cambio.....	21
Tabla 9. Relación emisiones de CO <sub>2</sub> con el PIB.....	22
Tabla 10. Estadísticos básicos del PIB usando el poder de compra.....	22
Tabla 11. Estadísticos básicos de los niveles de población.....	24
Tabla 12. Estadísticos básicos de las emisiones de CO <sub>2</sub> per capita.....	24
Tabla 13. Emisiones de CO <sub>2</sub> según sectores.....	25
Tabla 14. Descomposición de las emisiones de CO <sub>2</sub> según Kaya identity.....	26

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Evolución emisiones de CO <sub>2</sub> en España: 1971-2017.....	17
Ilustración 2. Emisiones de CO <sub>2</sub> por sectores en España 2017.....	18
Ilustración 3: Suministro total de energía primaria 1971-2017.....	20
Ilustración 4: Relación suministro de energía con las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	20
Ilustración 5. Evolución PIB en España 1971-2017.....	23
Ilustración 6. Evolución PIB y las emisiones de CO <sub>2</sub> en España 1971-2017.....	23
Ilustración 7. Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> per cápita 1971-2017.....	24
Ilustración 8. Emisiones de CO <sub>2</sub> por sectores en España 2017.....	25
Ilustración 9. Evolución de los factores Kaya en España 2017.....	26

## **2. FACTORES EXPLICATIVOS DE LA CURVA DE KUZNETS**

La curva de Kuznets se centra en comprobar la relación existente entre el crecimiento económico, y el impacto ambiental causado por el mismo. Para el largo plazo, esta relación se certifica en forma de U invertida.(Zilio, 2012)

Sin embargo, esta relación no puede afirmarse categóricamente, ya que sufre variaciones dependiendo de las características propias de los países en donde se analice en ámbitos económicos sociales y estructurales.

Realizando este análisis se observa como en las primeras fases del crecimiento económico la desigualdad en el reparto de ingresos es mayor suavizándose a medida que la economía continúa creciendo. La misma relación es la que se obtiene si se compara el nivel de degradación ambiental con el ingreso per cápita a largo plazo, conocida como Curva Ambiental de Kuznets (EKC).(Dinda, 2004)

Para explicar dicha relación los estudios de la curva utilizan diversos factores explicativos en los que apoyarse.

### **2.1 La elasticidad ingreso de la demanda de la calidad ambiental**

Los recursos naturales, al ser tanto bienes productivos como bienes de consumo provoca que su disponibilidad varíe según su elasticidad, lo que conforma un proceso explicativo de la curva EKC. Este factor viene fuertemente influenciado por las diferencias en el nivel de ingresos entre países o entre distintos sectores del mismo. Solo aquellos con un posición económica sostenible y holgada serán los que demanden una mejora en la calidad ambiental, ya que las necesidades o factores primarios ya los tienen cubiertos, incluso exigiendo una legislación regulatoria más dura, lo que provoca un aumento de la presión sobre las instituciones contaminantes.(Zilio, 2012)

Es por ello que las sociedades con mayor capacidad económica, al tener acceso a una educación de mayor calidad, demanda procesos y regulaciones con el fin de mejorar su situación ambiental.(Zilio, 2012)

Cuando se consigue cierto nivel de ingreso, se estará dispuesto a pagar por procesos y técnicas que generen una energía más limpia, ya que serán mejor valorados por la sociedad. La mayoría de estudios reconocen que; si la elasticidad de la demanda con la

calidad ambiental supera la unidad, estos bienes deben ser considerados bienes de lujo, lo que supone un factor explicativo primordial.(Dinda, 2004)

En los países en desarrollo, la mayor parte de los ingresos se destinan al gasto social, teniendo en cuenta que las preferencias de consumo vienen marcadas por el nivel relativo de riqueza, este afectará a la demanda de calidad ambiental por parte de la sociedad. A mayor desigualdad en el reparto, mayor será la demanda para satisfacer los bienes inferiores y necesidades básicas. La sociedad no posee disponibilidad económica para exigir cambios ambientales, a lo que se le suma una estructura económica intensamente manufacturera, con una sobreexplotación de los recursos naturales.(Zilio, 2012)

Dicho esto cabe destacar que lo que afecta a la demanda de calidad ambiental no aumenta de forma directamente proporcional con el aumento del ingreso, si no con un reparto más equitativo del mismo.(Zilio, 2012)

## 2.2 Distribución de ingresos

La distribución de ingresos entre la sociedad es otro factor explicativo de la curva de Kuznets. El crecimiento económico conllevará una distribución más equitativa en el nivel de ingresos de una sociedad. Para que esta afirmación se certifique es necesario que los agentes económicos participen de forma activa en este crecimiento económico y que se reduzca la diferencia en cuanto a ingresos entre aquellos que se benefician, por su actividad productiva, de la contaminación y aquellos que se ven más damnificados. (Zilio, 2012)

Reduciendo esta diferencia, los agentes económicos tendrán más poder para exigir mejoras ambientales; el crecimiento económico generará un aumento en el nivel de educación de la sociedad, con un mayor acceso a la información, el cual se verá traducido en la imposición de regulaciones más duras. Por estos motivos el papel de influencia de la sociedad es muy importante, ya que a pesar de que la tecnología sea eficiente y novedosa, este cambio en las preferencias de los consumidores provocará que se ejerza la presión necesaria sobre los agentes económicos para producir el cambio. (Kaika & Zervas, 2013)

El poder de influencia por parte de los agentes económicos y sociales hacen que tengan la capacidad de exigir una regulación rigurosa y que reduzca el efecto contaminante. El

gran grado de acceso a la información en los países desarrollados hacen que ese poder de influencia aumente y eso explica las diferencias de regulación entre las economías desarrolladas y en desarrollo. De un modo similar, los derechos de propiedad ayudan a realizar un reparto más eficiente de los recursos mejorando los niveles de ingreso y disminuyendo los efectos contaminantes. A mayor nivel de derechos de propiedad más eficiente es este reparto, factor que explica la diferencia entre las economías.(Dinda, 2004).

Los países en desarrollo con un nivel de ingresos bajo, no pueden permitirse el acceso a procesos e instituciones que favorezcan una economía más limpia, siendo primordial para ellos satisfacer las necesidades más básicas. Por ello, es necesario que apliquen políticas redistributivas que intenten mitigar la distancia entre los agentes económicos, favoreciendo de este modo la transición desde una economía contaminante a una más limpia(Zilio, 2012).

### 2.3 Efectos de composición tecnología y escala

El efecto escala viene dado por una relación directamente proporcional entre un aumento de la actividad económica y la generación de residuos y de gases de efecto contaminante lo que se traduce en degradación ambiental(Zilio, 2012)

El incremento de la actividad económica genera más riqueza, por lo que a medida que se avanza, se produce una transición en la estructura económica, focalizándose en el sector servicios el cual es mucho menos contaminante que el industrial. Este cambio en la estructura económica se le conoce como efecto composición, y sirve también como explicación de las diferencias en términos ambientales entre países desarrollados o en vías de desarrollo.(Zilio, 2012)

Aquellos países con un nivel de riqueza elevado son capaces de invertir recursos de forma contundente en la búsqueda de una tecnología más limpia, lo que se traduce en un aumento de la calidad ambiental. Este efecto tecnológico supone una ventaja para los países en desarrollo, ya que al desarrollarse de forma tardía, pueden tomar como ejemplo a los países que ya han pasado este crecimiento.(Zilio, 2012)



Tanto el efecto tecnológico como el de composición sirven de explicación para el cambio de pendiente, una vez alcanzado el punto de inflexión, en la curva de Kuznets con forma de U invertida. Solo cuando los efectos composición y tecnología superen al de escala, se producirá este cambio en el signo de la pendiente.(Zilio, 2012)

Estos factores explicativos no se certifican de manera evidente en los países en desarrollo a causa de las características propias de la economía de los mismos. El efecto escala se evidencia en economías de bajo nivel, el efecto composición no se puede verificar ya que hay países en desarrollo cuyo nivel del sector servicios es elevado, principalmente por el turismo, una actividad que genera un alto grado de contaminación ya sea de forma directa o indirecta.(Zilio, 2012)

En estos países es difícil que se produzca de manera correcta el efecto de la tecnología, ya que la inversión necesaria utiliza para satisfacer necesidades básicas de la sociedad como la sanidad o la educación por lo que la inversión en la tecnología es menos evidente, duradera y eficaz.(Zilio, 2012)

El uso de la energía es otro factor a destacar; ya que los avances e innovaciones conseguidos gracias a un uso eficiente de la tecnología suponen una mejora de la calidad ambiental. Cabe destacar la evolución en el uso de la tecnología en el transcurso histórico, como un bien primordial para conseguir el crecimiento económico. Tras la gran crisis del petróleo, la mayoría de los países desarrollados tuvieron que cambiar su estrategia, focalizándose en un uso más eficiente y menos intenso. A pesar de este cambio, la mayor parte de la energía se obtiene a través de las costumbres fósiles, por lo que genera una gran cantidad de contaminación y gases de efecto invernadero.

Una disminución en el uso de la energía supone una contracción de la economía, ya que es un bien fundamental para todos los procesos productivos o prestación de servicios; es por ello que el Estado y los agentes económicos deben controlar el tipo de energías que se usan y establecer precios y regulaciones que limiten su uso y premiar las energías limpias. Los países desarrollados son los que, por sus características sociales estructurales y económicas, tienen la posibilidad de hacer una transición energética limpia y eficiente, y subvencionarlo durante el efecto composición de forma que los países en desarrollo lleguen a tener la posibilidad de aplicar estos cambios en el largo plazo.(Kaika & Zervas, 2013)

## 2.4 Efectos del comercio

El efecto comercio puede dar lugar tanto a efectos positivos como negativos en términos de contaminación. La calidad ambiental puede disminuir a causa del efecto escala provocado por un aumento del comercio que hace que la economía crezca; a su vez, puede causar un efecto positivo por el efecto composición, ya que una mayor riqueza económica dará lugar a una transición productiva hacia el uso de tecnologías más limpias. Esta dicotomía entre los efectos positivos y negativos se conoce como Haven Pollution Hypothesis.(Dinda, 2004)

La apertura comercial da lugar a la posibilidad de realizar transacciones con el daño ambiental. Los países desarrollados buscan la forma de seguir creciendo para generar mayor riqueza en su economía, pero se encuentran limitados por las regulaciones ambientales que persiguen un uso de tecnologías más limpias; por ello buscan como vía de escape, trasladar sus procesos productivos contaminantes a países donde la regulación es más permisiva.(Zilio, 2012)

Esta limitación viene marcada por un cambio en la estructura productiva que no es acompañado por un cambio en el consumo de la sociedad, por lo que los países desarrollados se ven incentivados a enviar sus industrias contaminantes a los países en desarrollo. Este fenómeno es conocido como Hipótesis de Desplazamiento (Dinda, 2004)

La huida hacia países en desarrollo supone una ventaja, ya que evitan el desembolso económico necesario para la transición tecnológica, y se sitúan en países donde la industria y la mano de obra es más barata y con una estructura industrial acorde para la producción manufacturera.(Zilio, 2012)

Los países en desarrollo también se ven beneficiados en cierta forma de este fenómeno; supone un aumento de ingresos para estos, lo que a largo plazo puede dar lugar a un aumento de la demanda de la calidad ambiental, por lo que la apertura del comercio será utilizada como efecto llamada para atraer fondos y a su vez una tecnología que bien es obsoleta, es superior a la que poseen actualmente. (Zilio, 2012)

Estos países establecen sus estándares ambientales por debajo del nivel de la eficiencia con el fin de atraer la inversión y las industrias de los países desarrollados, ya que es la forma más efectiva para ellos de conseguir a mejorar su económica y su tecnología. A través de la transferencia de tecnología, se consigue que el uso de esta sea más eficiente,

ya que cuenta con las ventajas cosechadas por los países desarrollados que previamente la usaban.(Dinda, 2004)

Las economías desarrolladas cuentan con el mercado y los precios como mecanismos de control. El mercado autorregula el uso de los recursos naturales y favorece la transición hacia un uso de energías no contaminantes, por su parte el precio actúa de una forma similar valorando estos recursos, ya que los precios altos favorecen la transición hacia el uso de energías más limpias.(Dinda, 2004)

De esta forma los países en desarrollo poseen una industria principalmente manufacturera a lo que se le suma el uso de energías contaminantes mientras que los países desarrollados centran su actividad en el sector servicio y en el uso de energías limpias (Dinda, 2004)

A pesar de que ambas partes salen beneficiadas de este proceso, también se producen consecuencias negativas, ya que solo se produce un traspaso de la contaminación en vez de reducirlo; los países en desarrollo llenan su economía de actividades contaminantes por lo que su posterior transición a largo plazo será más complicando, aumentando el problema conocido como trampa de la pobreza.(Zilio, 2012)

## 2.5 Acuerdos comerciales

Dentro de este apartado nos focalizamos en el Protocolo de Kyoto, ya que es el acuerdo alcanzado que engloba a más países con unas medidas concretas. El principal objetivo de este acuerdo y de los países que firmaron su adhesión a él, es la disminución del efecto contaminante causado por el constante crecimiento de la actividad económica.

Para la consecución de ese objetivo, se acordó tratar de reducir las emisiones contaminantes a través de 3 mecanismos sobre el mercado del carbono:

El comercio de emisiones se centra en la compra de derechos de emisión por parte de aquellos países que por su actividad económica superan los límites estipulados, a aquellos países con niveles de emisión por debajo al acordado, de esta forma ambas partes obtienen beneficio económico.

Los mecanismos de implementación conjunta se basan en créditos de emisiones que se obtienen como recompensa por la utilización de actividades con un alto índice de reducción de emisiones, mientras que los mecanismos de desarrollo limpio, afectan a los

países en desarrollo y les permite vender certificados de emisiones reducidas por el desarrollo de actividades de este ámbito.(Zilio, 2012)

Las ventajas de estos mecanismos son que limitan la emisión pero realmente no mejora la calidad ambiental, solo se produce un trasvase de las emisiones, mejorándose la calidad local pero no en global.(Zilio, 2012)

## 2.6 Relevancia de los resultados de la EKC.

La presión medioambiental inicial es de carácter temporal, tras el incremento económico esta presión va descendiendo a causa de la imposibilidad de mantener esta eficiencia mientras crece la producción fruto de la mejora económica.

La gran diferencia existente entre las economías de los países hace imposible que se pueda llegar a una conclusión general sobre la efectividad del análisis de la curva EKC. La mejora de los procesos productivos y la disminución de la contaminación deben analizarse de forma local, ya que los países en desarrollo no han llegado a un nivel económico que les permita alcanzar el punto de cambio de la curva.

La reestructuración política, medioambiental y económica puede resultar muy costosa. El estado debe hacerse responsable de analizar la situación actual de su economía, de proveer los bienes necesarios y de acertar con la toma de decisiones.

Un correcto uso de los derechos de propiedad y de las regulaciones medioambientales ayudara al aplanamiento de la curva, se debe fomentar un cambio estructural que venga acompañado con las innovaciones en tecnología, así como la composición de las actividades económicas. Cuanto más dependa un país de las actividades manufactureras en relación a su PIB, mayores niveles de energía usará y por lo tanto se verá reflejado en la calidad ambiental.

Se debe destacar el nivel de inversión en I+D, ya que a mayor inversión más eficiente será el uso de la tecnología siendo positiva la elasticidad de la inversión con la protección medioambiental.

El régimen político en el que se encuentre el país también afecta de forma indirecta a la calidad medioambiental, así como el nivel de corrupción, ya que los niveles de

contaminación relacionados con este tipo de actividades están por encima de lo óptimo. (Dinda, 2004).

## 2.7 Marco institucional

El marco institucional de un país afectará en mayor o menor medida al desarrollo económico del mismo y forma un factor explicativo de la curva EKC. Viene marcado por la influencia y actuación de los principales agentes económicos, los cuales son capaces de exigir mejoras en la calidad ambiental a través de la presión, tratando de imponer regulaciones más intransigentes, al igual que los mercados de capital, los cuales pueden incentivar el consumo de productos limpios. Los accionistas o dirigentes de una empresa poseen cierto grado de poder en la toma de decisiones, ya que pueden exigir un trasvase de la compañía a un país en desarrollo, huyendo de las regulaciones ambientales que obligarían a una reestructuración industrial.

Respecto al grado de intervención del estado, una transición hacia una economía de mercado corrige los errores del mismo y penaliza las actividades que implican un gran uso de energía. Del mismo modo, un sistema político con derechos de propiedad estables puede dar lugar a acuerdos que incrementen el nivel de eficiencia y tecnología.

Las políticas medioambientales vienen dadas por las características y preferencias de la sociedad y marcarán el futuro de la economía del país y de su estructura productiva. El Estado debe encargarse de proveer ciertos bienes, sobre todos aquellos que supongan una importante inversión tecnológica. (Zilio, 2012)(Dinda, 2004).

Otro factor con un papel importante es el aprendizaje tecnológico. Como ya hemos explicado anteriormente, se verá beneficiado de una mejora de la educación o de la inversión en I+D e influirá de gran manera debido a la relación directamente proporcional que existe entre el sistema energético y las emisiones contaminantes(Zilio, 2012).

## 2.8 Conclusiones

Es difícil determinar de forma concisa los factores que explican esta relación ya que estos varían de forma significativa según las características del país, economía, estructura productiva o sociedad en la que lo analicemos. La relación en forma de U inversa solo se

puede certificar según el baremo de contaminación que usemos, principalmente aquellos que engloben costos a corto plazo (SMP SO<sub>2</sub> CO). Usando otros baremos es posible que encontremos curvas con forma de U invertida que acaben siendo en forma de N como con el CO<sub>2</sub>.(Dinda, 2004).

La mayoría de argumentos explicativos no son válidos para los países en desarrollo. La distribución de ingresos es muy desigual entre la población lo que impide un crecimiento económico estable, muchas de las necesidades básicas no están cubiertas, por lo que la calidad ambiental no entra dentro de las preferencias primordiales de la sociedad a lo que se le suma una regulación muy holgada sobre las actividades de efecto contaminante, por lo que la presión que ejercerán los agentes económicos para exigir mejoras de la calidad ambiental será muy reducida. Esto supone una importante limitación en el estudio, ya que estos países forman parte y sufren de la degradación medioambiental.(Zilio, 2012).

Las políticas medioambientales se basan en estudios como el de la EKC, los cuales no son capaces de llegar a conclusiones globales ya que estas varían según las variables que se usen. La principal limitación del estudio de la curva de Kuznets es la falta de datos actuales, ya que la recogida de estos varía según los baremos que usemos para su análisis.

Para la mayoría de los baremos que miden la contaminación, el punto de inflexión de la curva se encuentra entre una franja de ingresos comprendida entre 3000 y 10000 dólares(Dinda, 2004).

### 3. CASO DE ESTUDIO: ESPAÑA

En este apartado se realiza un estudio pormenorizado de las principales variables que definen el estudio de la curva de Kuznets en el caso particular de España, su evolución a través de los años y una comparación con países de interés a través de estadísticos básicos.

Para la realización del estudio se tienen en cuenta datos acotados en la serie temporal 1971-2017; como estadísticos básicos se toman en cuenta la media, los valores máximos y mínimos y la desviación típica y como países de referencia se escogen Estados Unidos y China como principales potencias económicas, Francia y Alemania como países punteros y vecinos en Europa, el conjunto de la Unión Europea (G-28) y en las variables más importantes la Unión Europea (G-15) ya que aporta datos más representativos y acordes con el caso de estudio.. Los datos se han obtenido de la Agencia Internacional de la Energía (IEA por sus siglas en inglés) (IEA,2019)

#### 3.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> de la combustión de combustibles fósiles

Se observa la comparación de los estadísticos básicos con los países de referencia en las emisiones de dióxido de carbono referentes a la combustión de combustible fósiles (petróleo, gas, carbón); España se encuentra muy por debajo de los valores del resto de países incluidos aquellos con características más similares como Francia o Alemania. Los datos se dan en millones de toneladas. España alcanzó su pico de emisiones en el año 2007 mientras que sus niveles mínimos de emisión corresponden a 1971, se encuentra levemente por encima de la media unitaria de países que forman la UE-15.

**Tabla 1. Estadísticos básicos de las emisiones de CO<sub>2</sub>: 1971-2017**

<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	223	338	119	57
<b>EEUU</b>	4 982	5 730	4 289	444
<b>CHINA</b>	3 724	9 302	789	2856
<b>FRANCIA</b>	371	475	293	49
<b>ALEMANIA</b>	889	1 099	719	114
<b>EU - 28</b>	3 705	4 024	3 171	1849
<b>EU - 15</b>	3015	3371	2539	192

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

Del mismo modo se puede realizar un estudio de estas variables de forma más precisa, especificando el tipo de combustible, de esta forma analizamos los distintos estadísticos según sea carbón petróleo o gas.

**Tabla 2. Estadísticos básicos de las emisiones de CO<sub>2</sub> por carbón: 1971-2017**

<b>Carbón</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	61	85	32	16
<b>EEUU</b>	1 728	2 179	1 106	328
<b>CHINA</b>	3 097	7 735	660	2383
<b>FRANCIA</b>	75	140	31	32
<b>ALEMANIA</b>	435	592	284	108
<b>EU - 28</b>	1 282	1 768	918	655
<b>EU - 15</b>	986	1248	572	200

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Tabla 3. Estadísticos básicos de las emisiones de CO<sub>2</sub> por petróleo: 1971-2017**

<b>Petróleo</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	134	184	80	33
<b>EEUU</b>	2 082	2 365	1846	337
<b>CHINA</b>	534	1 351	122	366
<b>FRANCIA</b>	230	325	178	51
<b>ALEMANIA</b>	315	432	239	71
<b>EU - 28</b>	1 533	1 669	1283	771
<b>EU - 15</b>	1447	1805	1133	174

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Tabla 4. Estadísticos básicos de las emisiones de CO<sub>2</sub> por gas: 1971-2017**

<b>Gas</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	28	81	1	27
<b>EEUU</b>	1155	1470	889	219
<b>CHINA</b>	87	448	7	115
<b>FRANCIA</b>	63	95	18	23
<b>ALEMANIA</b>	131	177	38	40
<b>EU - 28</b>	851	1009	644	432
<b>EU - 15</b>	584	890	167	207

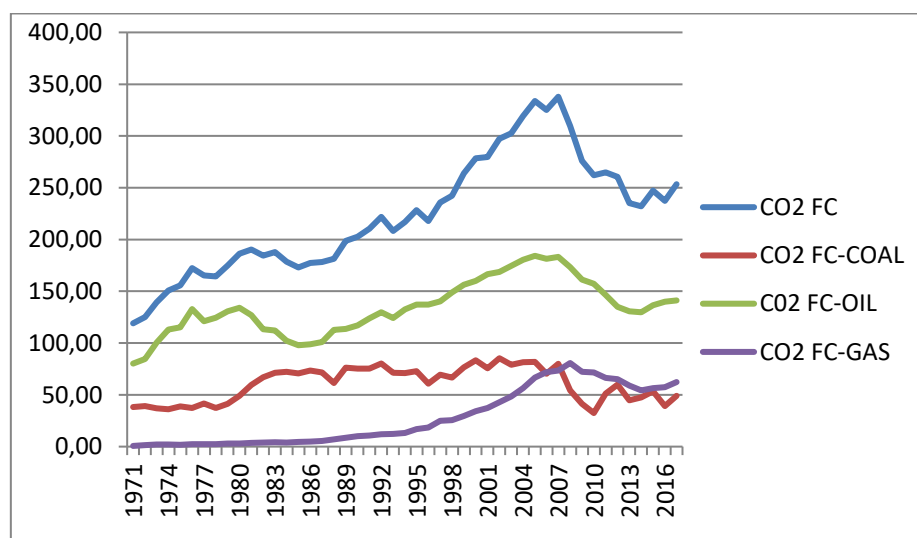
Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

Se observa como España usa de forma más intensa el petróleo, al igual que los países de la Unión Europea destacando el caso de Alemania, muy activa en las actividades del carbón en comparación con sus vecinos europeos.



Por último, se elabora un gráfico que muestra la evolución en las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los combustibles durante la serie temporal 1971-2017. En la Ilustración 1 se observa una notable reducción de las emisiones a partir del año 2008, con cambios en la estructura ya que el gas supera al carbón como segunda fuente a pesar de que sus valores son similares en la actualidad.

**Ilustración 1. Evolución emisiones de CO<sub>2</sub> en España: 1971-2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

España ha reducido drásticamente sus emisiones a partir del año 2008, coincidiendo con la aplicación de la primera fase del protocolo de Kyoto, con la intención de que las emisiones contaminantes netas no superasen el 15% respecto al año base (1990/1995). Este mismo año se acordó un plan aplicable a partir de 2013 en la lucha contra el cambio climático buscando la eficiencia energética y un mayor uso de las energías renovables además de alcanzar el 20% en la reducción de emisiones, a través de diversos mecanismos como el comercio de derechos de emisión.

También se acordaron los objetivos para el siguiente periodo comprendido entre 2021-2030 para alcanzar un 40% en las emisiones, un 27% de uso en energías renovables al igual que en eficiencia energética. (Miteco, 2020)

Esta tendencia se vio ratificada con la adhesión al acuerdo de París el cual tiene como objetivo reducir el incremento de temperatura del 2% respecto a los niveles preindustriales además de la búsqueda a medio plazo de un equilibrio entre las emisiones y absorciones de los gases de efecto invernadero. Este acuerdo posee un carácter

progresivo y ambicioso, ya que los controles aumentan conforme se consiguen los anteriores. (Miteco, 2020)

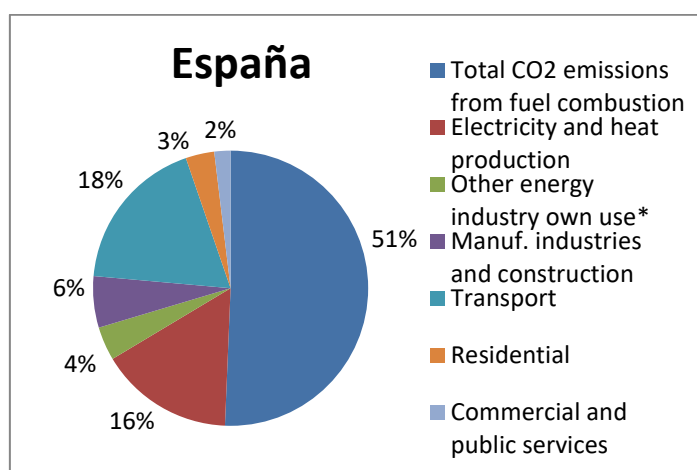
En la tabla 5 se observan las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en el 2017. A su vez se analiza la distribución en España, destacando el hecho de que más de la mitad de las emisiones provienen de los combustibles. Dentro del transporte en España, el 90% de las emisiones provienen del transporte por carretera.

**Tabla 5. Emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores: 2017**

	Total emissions from combustion	Electricity and heat production	Other energy industry own use*	Manuf. industries and construction	Transport	Residential	Commercial and public services
<b>EEUU</b>	4761	1823	242	429	1724	286	212
<b>Francia</b>	306	46	13	41	126	43	26
<b>Alemania</b>	719	304	24	94	163	88	46
<b>España</b>	253	79	20	30	92	17	10
<b>China</b>	9302	4618	313	2754	889	385	149
<b>UE - 28</b>	3209	1115	159	405	928	379	160

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Ilustración 2. Emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en España 2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

Siguiendo un método similar se realiza un estudio del suministro total de energía primaria con su respectiva comparación con los países de referencia y sus estadísticos, así como la evolución en la serie temporal para el caso de estudio. Las nuevas medidas se realizan en petajoules y se establece la relación con las emisiones de CO<sub>2</sub>. España se encuentra por

debajo de países similares como Francia en términos de suministros, pero la relación con las emisiones de CO<sub>2</sub> es muy alta, superando a la media de la Unión Europea. A pesar de estos datos, se puede observar una progresiva disminución de los mismos a lo largo del tiempo.

**Tabla 6. Estadísticos básicos del suministro total de energía primaria: 1971-2017**

<b>P<sub>i</sub></b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación</b>
<b>ESPAÑA</b>	4052	6022	1784	1385
<b>EEUU</b>	84030	97865	66470	15296
<b>CHINA</b>	54725	128847	16500	36627
<b>FRANCIA</b>	9463	11416	6639	1994
<b>ALEMANIA</b>	14039	15326	12772	2137
<b>EU - 28</b>	70427	75439	65754	35156

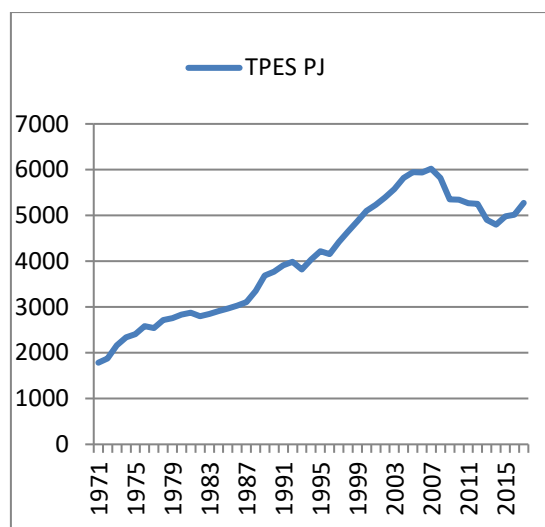
Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Tabla 7. Relación emisiones de CO<sub>2</sub> con el suministro de energía primaria: 1971-2017**

<b>CO<sub>2</sub>/TPES</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación</b>
<b>ESPAÑA</b>	56,64	66,76	47,30	10,13
<b>EEUU</b>	59,51	64,88	52,77	9,05
<b>CHINA</b>	63,10	75,43	47,84	12,47
<b>FRANCIA</b>	40,88	63,77	28,23	13,23
<b>ALEMANIA</b>	63,22	76,59	55,02	11,41
<b>EU - 28</b>	52,59	58,42	47,34	26,31

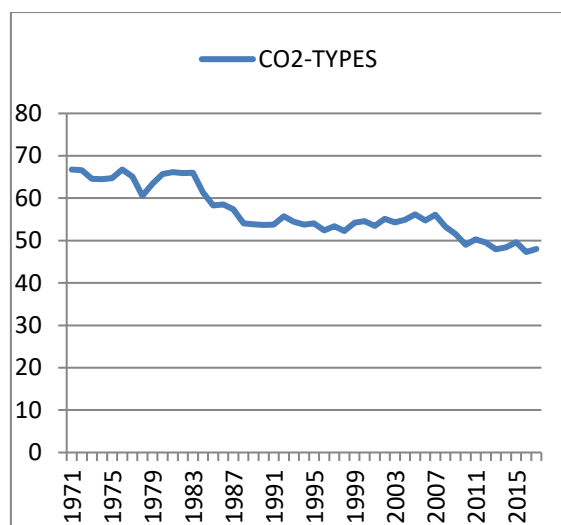
Fuente: Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Ilustración 3: Suministro total de energía primaria 1971-2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Ilustración 4: Relación suministro de energía con las emisiones de CO2**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

Respecto a la política energética española destaca la diversidad de su mix eléctrico bien diversificado, con un bajo ratio entre energía y potencia instalada. Actualmente los combustibles fósiles representan cerca del 80% del suministro de energía. España destaca por un vacío estratégico a medio plazo en el ámbito energético, muy desigual con otros países similares como Francia que pretende alcanzar una reducción de los gases de efecto invernadero del 40% para 2030 o Alemania con una reducción de emisiones entre 80% y

90% para 2050. Los distintos mix y estrategias utilizadas buscan la descarbonización de la energía y debe ser apoyada con herramientas como la fiscalidad medioambiental o los precios del carbono, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos por la Unión Europea.

España se encuentra en una posición no muy favorable debido a la gran dependencia energética que limita su actividad y pone en riesgo su suministro, agravado por la escasa interconexión existente con el centro y norte de Europa y el descenso de la demanda causado por la reciente recesión económica.

Respecto a la política energética española destaca la diversidad de su mix eléctrico bien diversificado, con un bajo ratio entre energía y potencia instalada. A pesar de que las energías renovables alcanzaron en 2014 el 43% de cobertura de la demanda, los precios domésticos de consumo son de los más elevados dentro de Europa causados por una agresiva fiscalidad a la vez que se reducen los márgenes de las empresas.

Por su parte, el gas ha evolucionado durante la última década incrementando su presencia en el uso doméstico, pero lejos de la media europea. El petróleo en cambio viene muy influenciado por el contexto europeo presionado por las nuevas regulaciones medioambientales y una agresiva fiscalidad entorno al 50%. Actualmente los combustibles fósiles representan cerca del 80% del suministro de energía. (*ESTRATEGIA ENERGÉTICA ESPAÑOLA A MEDIO Y LARGO PLAZO: MIX Y MERCADOS Análisis Comparado y Propuestas*, n.d.)

Se realiza un estudio del producto interior bruto usando los ratios de cambio y el poder de compra, calculando los estadísticos básicos con el fin de situar el caso de estudio con países de referencia y su evolución a lo largo de los años.

En las tablas 8 y 9 se observa los indicadores sobre el producto interior bruto según los ratios de cambio, así como la relación que se establece en kilogramos de emisión de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 8. Estadísticos básicos del PIB usando ratios de cambio**

<b>Ex.rates</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación</b>
<b>ESPAÑA</b>	992	1510	479	360
<b>EEUU</b>	10563	17349	4915	4158
<b>CHINA</b>	2742	10441	225	2958
<b>FRANCIA</b>	2022	2875	1094	614
<b>ALEMANIA</b>	2719	3884	1582	780
<b>EU - 28</b>	15370	18827	11832	7842
<b>EU - 15</b>	11935	17190	6550	3292

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Tabla 9. Relación emisiones de CO<sub>2</sub> con el PIB**

<b>CO<sub>2</sub>/GDP</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación</b>
<b>ESPAÑA</b>	0,23	0,29	0,16	0,05
<b>EEUU</b>	0,53	0,88	0,27	0,19
<b>CHINA</b>	2,16	4,10	0,89	1,04
<b>FRANCIA</b>	0,20	0,39	0,11	0,09
<b>ALEMANIA</b>	0,36	0,62	0,19	0,15
<b>EU - 28</b>	0,25	0,34	0,17	0,13
<b>EU - 15</b>	0,28	0,46	0,15	0,09

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

En la tabla 10 se obtienen datos del producto interior bruto de los países teniendo en cuenta el poder de compra de las partes y su posterior relación con las emisiones de CO<sub>2</sub>.

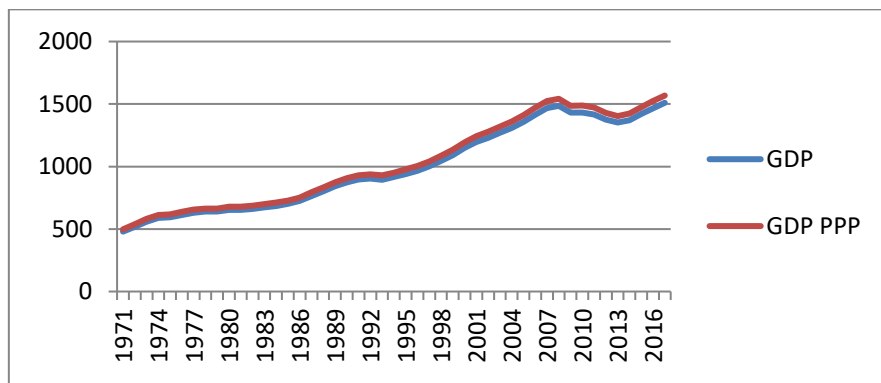
**Tabla 10. Estadísticos básicos del PIB usando el poder de compra**

<b>GDP/PPP</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	1030	1568	498	374
<b>EEUU</b>	10563	17349	4915	4158
<b>CHINA</b>	5533	21201	445	6010
<b>FRANCIA</b>	1786	2540	966	543
<b>ALEMANIA</b>	2550	3642	1484	732
<b>EU - 28</b>	15093	18650	11621	7712
<b>EU - 15</b>	11106	15957	6084	3060

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

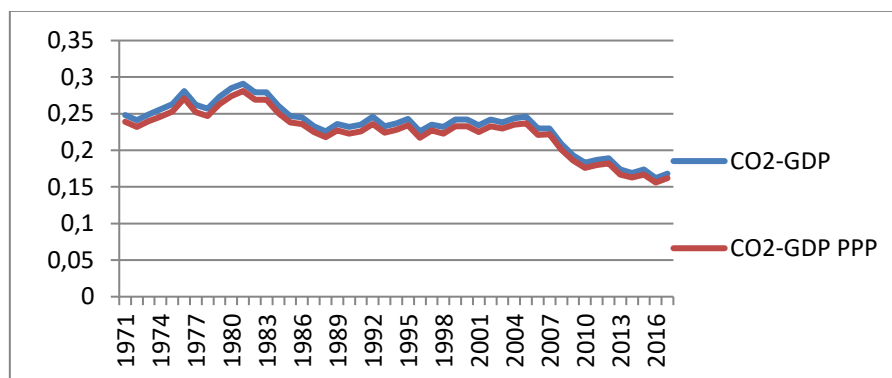
España se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea. Destaca el altísimo ratio de China, exponencialmente superior al resto de países de referencia tanto en los ratios de cambio como en el poder de compra.

**Ilustración 5. Evolución PIB en España 1971-2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Ilustración 6. Evolución PIB y las emisiones de CO2 en España 1971-2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

### 3.2. Población

En las tablas se observan datos de las poblaciones de los países de referencia, un factor intensamente explicativo de otras variables como el PIB y de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los datos de población se dan en millones de habitantes mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> se dan en toneladas. Dentro del caso de estudio destacamos que la relación entre la población y las emisiones son superiores a la media de la Unión Europea. Destacamos también el caso de China con unos niveles exponencialmente superiores al resto de países, también en términos de comunicación, pero la relación respecto.

**Tabla 11. Estadísticos básicos de los niveles de población**

<b>Población</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	41	47	35	7
<b>EEUU</b>	265	326	208	53
<b>CHINA</b>	1166	1394	845	236
<b>FRANCIA</b>	60	67	52	10
<b>ALEMANIA</b>	80	83	78	12
<b>EU - 28</b>	494	512	478	246
<b>EU - 15</b>	374	408	344	18

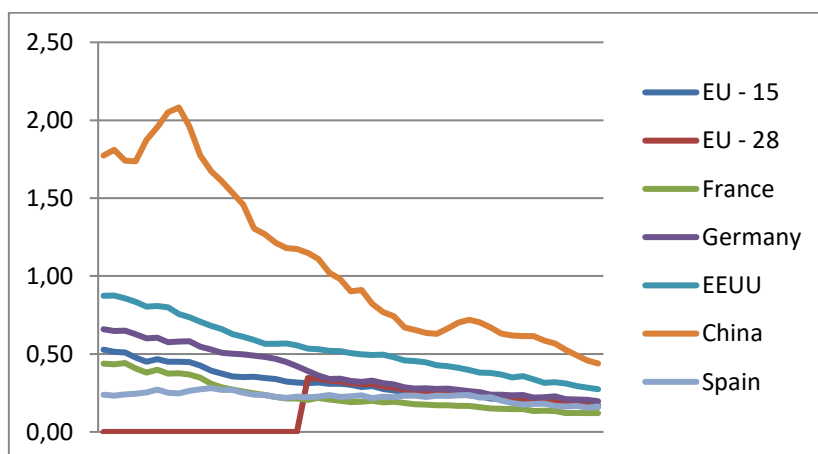
Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Tabla 12. Estadísticos básicos de las emisiones de CO<sub>2</sub> per capita**

<b>CO<sub>2</sub> per capita</b>	<b>Media</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Desviación Típica</b>
<b>ESPAÑA</b>	5,43	7,64	3,44	1,31
<b>EEUU</b>	18,99	22,13	14,61	3,29
<b>CHINA</b>	2,96	6,77	0,93	1,98
<b>FRANCIA</b>	6,30	8,90	4,42	1,53
<b>ALEMANIA</b>	11,14	14,07	8,70	2,27
<b>EU - 28</b>	3,78	3,78	3,78	3,78
<b>EU - 15</b>	9,24	11,27	6,90	1,02

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Ilustración 7. Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita 1971-2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

De la misma forma se puede realizar un análisis de las emisiones per cápita por sector, tomando como año de referencia el 2017. Los datos se obtienen dividiendo los kilogramos



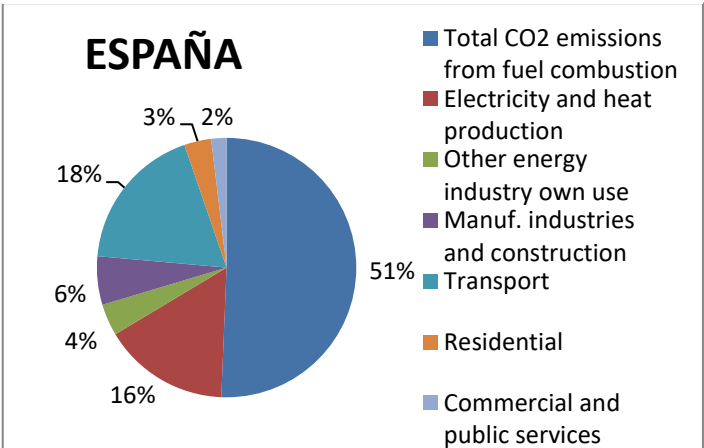
de CO<sub>2</sub> entre la población para los principales países de referencia, así como un gráfico de la distribución en España, muy similar al comentado anteriormente el cual no tenía en cuenta la relación con el capital.

Tabla 13. Emisiones de CO<sub>2</sub> según sectores

	Total CO <sub>2</sub> emissions from fuel combustion	Electricity and heat production	Other energy industry own use	Manuf. industries and construction	Transport	Residential	Commercial and public services
ESPAÑA	5446	1694	426	649	1970	362	205
EEUU	14606	5592	742	1317	5289	878	649
CHINA	6674	3313	224	1976	638	276	107
FRANCIA	4565	683	201	613	1876	640	389
ALEMANIA	8696	3676	289	1136	1978	1059	555
EU - 28	6263	2176	311	791	1812	739	311

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

Ilustración 8. Emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en España 2017



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

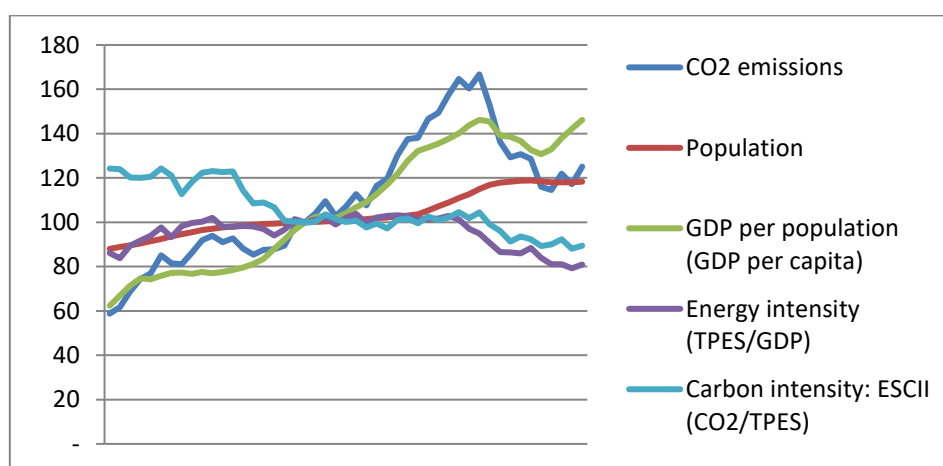
Por último, se realiza la descomposición de los principales factores que explican las emisiones de CO<sub>2</sub> conocido como Kaya identity, el cual tiene en cuenta las emisiones, la población, el PIB y el consumo de energía, así como la evolución de España entre 1971 y 2017.

**Tabla 14. Descomposición de las emisiones de CO<sub>2</sub> según Kaya identity.**

	EEUU	France	Alemania	España	China	EU
<b>CO2 emissions</b>	99	89	76	125	438	80
<b>Population</b>	130	115	104	118	122	107
<b>(GDP per capita)</b>	148	132	145	146	939	150
<b>Energy intensity (TPES/GDP)</b>	58	73	59	81	30	61
<b>Carbon intensity: ESCII (CO<sub>2</sub>/TPES)</b>	88	80	86	89	126	81

Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

**Ilustración 9. Evolución de los factores Kaya en España 2017**



Fuente. Elaboración propia a través de la base de datos IEA 2019

### 3.3 Políticas de cambio climático en la Unión Europea.

La Unión Europea plantea distintos objetivos a conseguir por parte de los países participantes para el año 2030. Su agenda de actuación se basa principalmente en tres puntos:

Reducir en un 40% los gases de efecto invernadero tomando como referencia los valores de 1990, conseguir como mínimo un 32% de uso de la energía renovable y alcanzar un 32.5% en eficiencia energética.

Para la consecución de dichos objetivos se apuesta por una transición ecológica con procesos gubernamentales transparentes y dinámicos. Se apuesta por adoptar planes energéticos de carácter nacional y planes climáticos (NECPs) y la elaboración de estrategias a largo plazo acordes con estos planes

El desarrollo e implantación de estrategias comunes garantiza la accesibilidad y el suministro de energía reduciendo la dependencia sobre las importaciones de la misma además de fomentar nuevas oportunidades de crecimiento y empleo. (European Comission, s.f.)

#### 4. ANALISIS ECONOMETRICO CURVA DE KUZNETS AMBIENTAL

Este apartado trata de obtener evidencias de la relación entre la renta y las emisiones de CO<sub>2</sub>, y la forma que adopta la curva en el caso de España. Para ello se realiza un análisis econométrico tomando los datos del International Energy Agency (IEA) para una serie temporal que transcurre entre 1971-2017.

Para plantear el modelo, se escoge como variable endógena las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita; como variables explicativas usaremos el PIB per cápita, así como sus cuadrados y cubos. Además, se añaden ciertas variables de control como la tendencia temporal y dos variables que representan el consumo energético.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 E_t + \beta_3 W_t + \beta_4 T_t$$

Y<sub>t</sub>: Representa las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita. Actúa como variable endógena

X<sub>t</sub>: representa el PIB per cápita en logaritmo. Actúa como variable explicativa.

E<sub>t</sub>: Representa el logaritmo del consumo eléctrico total. Actúa como variable explicativa

W<sub>t</sub>: Representa el logaritmo de la producción de energía renovable. Actúa como variable explicativa

T<sub>t</sub>: Representa la tendencia temporal.

Para realizar la estimación del modelo se testean los coeficientes de las distintas variables previamente explicadas.

Si  $\beta_1 = \beta_2 = 0$  no existe relación entre el CO<sub>2</sub>pc y el PIBpc

Si  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 = 0$  la relación entre el CO<sub>2</sub>pc y el PIBpc es creciente.

Si  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = 0$  la relación entre el CO<sub>2</sub>pc y el PIBpc es decreciente

Si  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 > 0$  la relación entre el CO<sub>2</sub>pc y el PIBpc tendrá forma de U

Si  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 < 0$  la relación entre CO<sub>2</sub>pc y PIBpc tendrá forma de U invertida. Esta situación certificaría la curva de Kuznets. (Kaika & Zervas, 2013)

Se realiza un análisis econométrico de la curva de Kuznets. Siguiendo la especificación de la Curva de Kuznets empleada en la literatura, se empieza desde un modelo flexible como punto de partida, con el fin de recoger la posible no linealidad entre las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita y el PIB per cápita. Se debe ir probando con los diversos términos hasta

conseguir el modelo adecuado que certifique, si es posible, los fundamentos teóricos explicados previamente.

Como inicio, se estima un modelo doblemente logarítmico especificando como variables el término del PIB per cápita al cuadrado y al cubo, se puede ver los resultados de estimación MCO del Modelo 1 en el anexo 1. Ninguna de las variables estimadas es significativa y prácticamente se incumplen todos los contrastes, lo que nos indica la invalidez del modelo.

En concreto, realizando el contraste de especificación RESET siendo la hipótesis nula la adecuada especificación del modelo nos indica que la forma funcional es correcta, ya que el p-valor del contraste supera al nivel de especificación.

Respecto al análisis de autocorrelación se usa el estadístico Breusch- Godfrey. Antes de ello, se obtiene el gráfico de los residuos contra el tiempo y el correlograma. Los dos instrumentos indican claramente que el modelo tiene problemas de autocorrelación. En el gráfico de residuos se aprecia la gran bajada provocada en parte por la recesión económica acontecida en el año 2008. Realizando el contraste obtenemos un p-valor de  $1,21722e-016$ , inferior al nivel de significación de 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación, lo que implica la existencia de la misma.

Respecto al análisis de heterocedasticidad se estima el contraste de White y de Breusch-Pagan, obteniéndose un estadístico de contraste de White  $TR^2 = 26,246887$  con un p-valor de 0,0002, el cual es inferior al nivel de significación fijado en 0.05 por lo que rechazamos la hipótesis nula de homocedasticidad, afirmando la existencia de la misma en el modelo.

Por último, se realiza un análisis de normalidad, obteniendo el histograma de residuos y el contraste de normalidad con el estadístico de contraste: Chi-cuadrado (2) = 0,527347; con valor  $p = 0,768224$  superando al nivel de significación por lo que se puede aceptar la hipótesis nula de que el error se distribuye normalmente.

Adicionalmente se realiza el contraste de Chow, con el fin de observar el cambio estructural, concretamente para los años 2005, 2007 y 2008. en los tres casos, el p-valor obtenido es inferior al nivel de significación, por lo que se rechaza la hipótesis nula, asumiendo que existe cambio estructural.

La inclusión de una variable ficticia en el modelo con el fin de recoger el cambio estructural no ha contribuido a la mejora del modelo. Finalmente se asume que el modelo no es adecuado dada la inconsistencia de los contrastes realizados, la falta de significatividad individual de las variables y la existencia de una fuerte multicolinealidad.

Continuando con el análisis se estima un nuevo modelo omitiendo el término PIB al cubo. (Modelo 2, Anexo 1). Los resultados obtenidos son similares al modelo anterior, solo el término PIB lineal es significativo al 10%.

El contraste de especificación de RESET obtiene un estadístico  $F = 0,6819$  con un p-valor  $= 0,51112$  superior al nivel de significación de 0.05 aceptando la hipótesis nula por lo que la especificación es adecuada

Respecto al análisis de autocorrelación tanto el estadístico de contraste LMF como el alternativo  $TR^2$  obtienen p-valor menores que el nivel de significación, con lo que se rechaza la hipótesis nula y se asume la existencia de autocorrelación.

Analizando la heterocedasticidad del modelo estimamos el contraste de White obteniéndose un p-valor de 0,000082, inferior al nivel de especificación, se rechaza la hipótesis nula afirmando la existencia de heterocedasticidad en el modelo.

Respecto al análisis de la normalidad se realiza el contraste de los residuos obteniéndose un p-valor de 0,81197, superior al nivel de significación fijado en 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula afirmando que el error se distribuye normalmente.

De la misma forma se analiza el cambio estructural realizando el contraste de Chow para los años 2005 y 2007 obteniéndose p-valor de  $6,43402e-005$  y  $2,67338e-008$  respectivamente, valores menores que el nivel de significación por lo que se rechaza la hipótesis nula afirmando la existencia de cambio estructural.

Los resultados obtenidos en este modelo son muy similares a los del primero, por lo que el modelo tampoco es adecuado para la estimación.

En los dos modelos previamente explicados (Modelo 1 y Modelo 2) se trató de incluir la variable de tendencia temporal como variable explicativa con el fin de tener en cuenta el efecto de muchos factores que no se han incluido en el modelo de forma explícita, pero sí que influyen en el comportamiento a largo plazo de las emisiones de CO<sub>2</sub> como puede ser el progreso tecnológico, las leyes, regulaciones y políticas medioambientales.

Finalmente, no se pudo añadir puesto que su inclusión provocaba fallos en los contrastes a estimar.

Con el propósito de mejorar la especificación del modelo y obtener un modelo válido, en el siguiente modelo (Modelo 3) se incluye el PIB sólo en su forma lineal como variable explicativa y se añade una nueva variable explicativa, el consumo eléctrico en su forma logarítmica, además de la tendencia temporal (Anexo 1). Se realizan los diversos contrastes para determinar si el modelo es bueno. El modelo cumple todos los contrastes excepto el de autocorrelación. El contraste de RESET que mide la especificación del modelo, los de White y Breusch-Pagan que miden la heterocedasticidad y el contraste de Jarque-Bera que mide la normalidad poseen p-valores superiores al nivel de significación por lo que la especificación es adecuada y no existe heterocedasticidad y ni problema de normalidad en el modelo. Por otro lado, el contraste de autocorrelación da resultados negativos que nos indican la existencia de autocorrelación.

Siguiendo el modelo anterior (Modelo 3, Anexo 1) estimamos uno nuevo con la producción de energía renovable en su forma logarítmica. (Modelo 4, Anexo 1). Los resultados de este modelo son iguales a los del Modelo 3. El contraste de RESET y de White son positivos, lo que indica que el modelo no tiene heterocedasticidad y la especificación es adecuada, además el contraste de normalidad nos indica que el error se distribuye normalmente, en cambio, el contraste de Breusch- Godfrey nos indica que el modelo tiene autocorrelación.

Observando la similitud entre los dos anteriores modelos (Modelo 3 y Modelo 4), se procede a estimar uno nuevo (Modelo 5) en el que se añaden las energías renovables y el consumo eléctrico conjuntamente en formato doble logaritmo. (Tema, n.d.-a)(Tema, n.d.-b)

Tabla 1: Resultados de estimación MCO del modelo nº 5

Variable	Coefficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
const	-5,67029	0,703464	-8,0605	<0,00001
l_GDPpc	1,09766	0,165396	6,6366	<0,00001
l_RENVpc	-0,0999998	0,039976	-2,5015	0,01635

l_ELECpc	0,528671	0,107178	4,9327	0,00001
time	-0,0251344	0,00316813	-7,9335	<0,00001

R2 = 0,952002

Desviación típica de los residuos = 0,0442759

Las variables incluidas en el modelo son significativas todas ellas al 5%. Se observa como las emisiones en general aumentan de forma proporcional con el PIB ya que el coeficiente es positivo y estamos en un modelo logaritmo-logaritmo y gracias a la elasticidad de las variables.

El coeficiente de las energías renovables es negativo, el cual es indicativo de la existencia de una relación directamente proporcional entre la disminución de las emisiones de CO2 a medida que aumenta el uso de las energías renovables. España se encuentra en una situación complicada en este ámbito debido a la gran interdependencia energética en relación a otros países y con un modelo de consumo basado en las energías fósiles, mucho más contaminantes que las renovables.

Respecto al consumo eléctrico, el coeficiente positivo nos indica que a medida que aumenta el consumo, las emisiones de CO2 aumentan también.

La tendencia temporal tiene un coeficiente negativo, lo que indica que las emisiones tienden a disminuir al largo-medio plazo, lo que indica una tendencia opuesta a la expresada por el PIB. Este efecto se debe a la influencia de las nuevas políticas con efecto regulador sobre las actividades contaminantes, el progreso tecnológico buscando la eficiencia energética, las nuevas regulaciones ambientales o su compromiso con los acuerdos internacionales como el de Kyoto y el de Paris, buscando la consecución de objetivos comunes para todos los países, todo esto provoca que las emisiones vayan a disminuir a largo plazo.

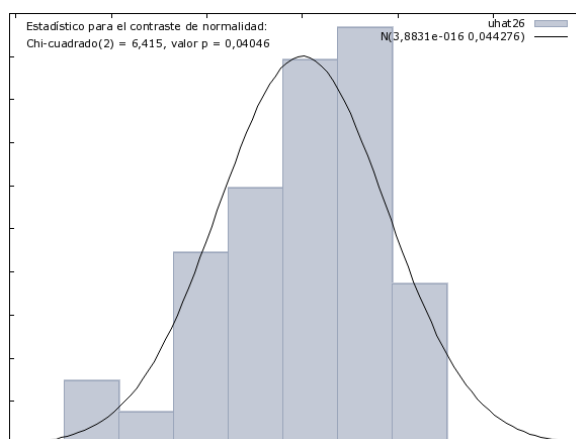
La siguiente tabla muestra que el modelo cumple todos los contrastes excepto la no autocorrelación:



Nombre del contraste	Hipótesis nula	Estadístico	P-valor
Especificación: RESET	La especificación es adecuada	$F(2, 40) = 0,679698$	0,512526
Autocorrelación: LM Breusch-Godfrey	No hay autocorrelación	$LMF = 34,0997$	$7,31829e-007$
Heterocedasticidad: - White	Homocedasticidad	$TR^2 = 20,746557$	0,108306
- Bruesch-Pagan	Homocedasticidad	7.71	0,1024
Normalidad: Jarque - Bera	El error se distribuye normalmente	Chi-cuadrado (2) = 3,9244	0,140549

El contraste de RESET que mide la especificación de las variables del modelo obtiene un p-valor superior al nivel de significación por el cual se acepta la hipótesis nula lo que nos indica que la especificación del modelo es correcta. El contraste Breusch-Godfrey mide la autocorrelación del modelo, como el p-valor es inferior al nivel de significación fijado en 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicativo de que existe autocorrelación en el modelo. Por su parte el contraste de White mide la heterocedasticidad delo modelo, con un p-valor superior al nivel de significación se acepta la hipótesis nula la cual implica la ausencia de heterocedasticidad en el modelo. Se realiza únicamente sobre los cuadrados para evitar la multicolinealidad.

El contraste Jarque- Bera mide la normalidad del modelo, con un p-valor inferior al nivel de significación se rechaza la hipótesis nula por lo que el error no se distribuye normalmente.



Se realiza el contraste de Chow de cambio estructural para los años 1989, 1997, 2005 y 2007 en todos ellos se acepta la hipótesis nula que implica que no hay cambio estructural exceptuando el 1989.

Se destaca también el R<sup>2</sup> de 95% el cual indica que las variaciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>pc vienen explicadas en ese porcentaje por el modelo.

Debido a la presencia de autocorrelación en el modelo y con el fin de obtener una inferencia estadística válida procedemos a realizar la estimación robusta a autocorrelación del modelo

Tabla 2 Modelo n° 6: Resultados de estimación MCO robusta a autocorrelación

	Coefficiente	Desv. Típica	z	valor p
const	-5.67029	0.674382	-8.408	<0.0001
l_GDPpc	1.09766	0.166416	6.596	<0.0001
l_RENVpc	-0.0999998	0.0522614	-1.913	0.0557
l_ELECpc	0.528671	0.101210	5.223	<0.0001
time	-0.0251344	0.00335311	-7.496	<0.0001

R<sup>2</sup> = 0.952002

Desviación típica de los residuos = 0.044276

Al igual que en los modelos explicados previamente, la significatividad de las variables se mantiene al 5% de significación, exceptuando las energías renovables que lo hacen al 10%.

## **5. CONCLUSIONES**

El cambio climático es uno de los problemas y retos más importantes a resolver por la sociedad en los próximos años. Durante el desarrollo del trabajo se puede observar cómo ha ido evolucionando la problemática actual, los factores explicativos causantes de la misma, así como datos concretos del caso de estudio.

La problemática tomó seriedad una vez alcanzados los acuerdos gubernamentales en los tratados de Kyoto (1997) y Paris (2015), los cuales proponían ciertos objetivos a alcanzar mediante diversos mecanismos. Con el paso del tiempo se ha podido observar como dichos tratados fueron insuficientes, donde no se castigaba duramente a los países que no cumplieron los objetivos marcados, mientras que los mecanismos propuestos, el comercio y crédito de emisiones principalmente, fueron ineficaces, ya que simplemente trasladaba la contaminación desde los países desarrollados hacia otros más pobres, olvidándose de la globalidad del problema, formándose el fenómeno denominado como Hipótesis de Desplazamiento.

Los países deben autoexigirse una mayor demanda ambiental, para ello deben tener una posición económica medianamente holgada, con un reparto económico igualitario que favorezca, junto a un mayor nivel de educación, la exigencia de medidas más restrictivas a través de la concienciación social.

Tanto el efecto escala, composición y tecnológico son realidades tangibles en países desarrollados como es el caso de España, el propio crecimiento de la economía genera una mayor cantidad de residuos, pero favorece una transición económica hacia una estructura focalizada en sectores menos contaminantes y los agentes económicos podrán exigir tecnologías más limpias.

A medida que el país crece económicamente, el efecto composición y tecnológico supera al de escala. De esta manera cabe destacar también la gran interdependencia energética que lastra el crecimiento económico de España, con un modelo basado en los combustibles fósiles.

España debe focalizar sus esfuerzos en conseguir una transición energética fomentando las actividades de I+D, las cuales son muy bajas en el país, lo que dificulta dicho objetivo. Estos factores sumados a otros, explican el cambio de pendiente de la curva de Kuznets y su forma de U invertida.

Basándose en los resultados de nuestros modelos, no hemos encontrado una clara evidencia empírica de la forma de U invertida para España. En concreto el modelo econométrico realizado indica que las emisiones en general aumentan de forma proporcional con el PIB. Además, hemos encontrado que existe una relación directamente proporcional entre la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a medida que aumenta el uso de energías renovables. Por otro lado, la tendencia temporal incluida en el modelo indica que las emisiones tienden a disminuir a largo plazo, una tendencia opuesta a la expresada por el PIB.

Este efecto se debe a la influencia de las nuevas políticas con efecto regulador sobre las actividades contaminantes, el progreso tecnológico en busca de la eficiencia energética, las nuevas regulaciones ambientales o su compromiso con Europa, así como los acuerdos internacionales como el de Kyoto o Paris en búsqueda de objetivos comunes para todos los países, lo que provoca que las emisiones vayan a disminuir a largo plazo.

El efecto invernadero sigue aumentando a pesar de los esfuerzos por los países en minimizarlo, se deben exigir medidas mas duras tanto al sector publico como al privado, buscando medidas que de verdad reduzcan la contaminación y no solo un simple trasvase a otro lugar. El coste económico para conseguir este objetivo es elevado, pero a su vez necesario.

## Anexo

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 1971-2017 (T = 47)

Variable dependiente: l\_CO2pc

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
-----				
const	-37.1564	39.3403	-0.9445	0.3502
l_GDPpc	34.8634	38.0398	0.9165	0.3645
lGDPpc2	-10.5486	12.2244	-0.8629	0.3930
lGDPpc3	1.07787	1.30550	0.8256	0.4136
R-cuadrado	0.717789	D.T. de la regresión	0.106105	

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]

Estadístico de contraste:  $F(2, 41) = 0.295317$

con valor  $p = P(F(2, 41) > 0.295317) = 0.745865$

Contraste de heterocedasticidad de White -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $TR^2 = 26.246887$ ,

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(6) > 26.246887) = 0.000200$

Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $LM = 17.1209$

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(3) > 17.1209) = 0.000667402$

Contraste LM de autocorrelación hasta el orden 1 -

Hipótesis nula: No hay autocorrelación

Estadístico de contraste:  $LMF = 176.647$

con valor  $p = P(F(1, 42) > 176.647) = 1.21722e-016$

Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2005 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(4, 39) = 9.12813$

con valor  $p = P(F(4, 39) > 9.12813) = 2.64623e-005$

Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2007 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(4, 39) = 19.9574$

con valor  $p = P(F(4, 39) > 19.9574) = 5.17545e-009$

Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2008 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(4, 39) = 25.2227$

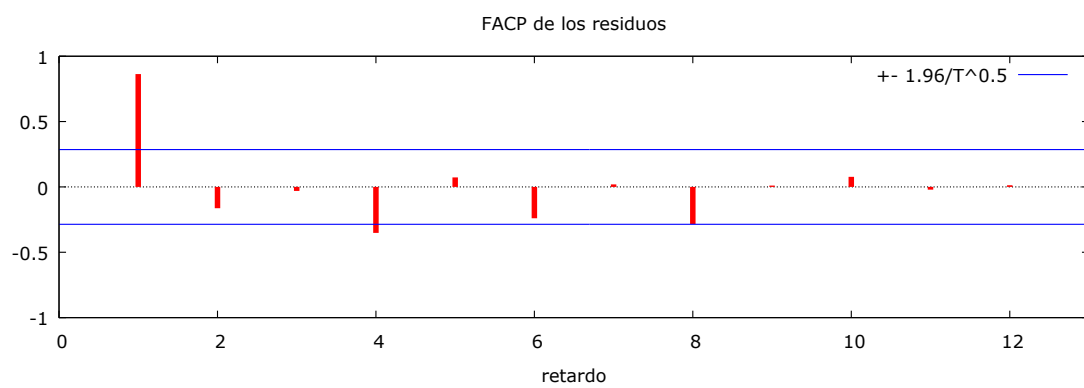
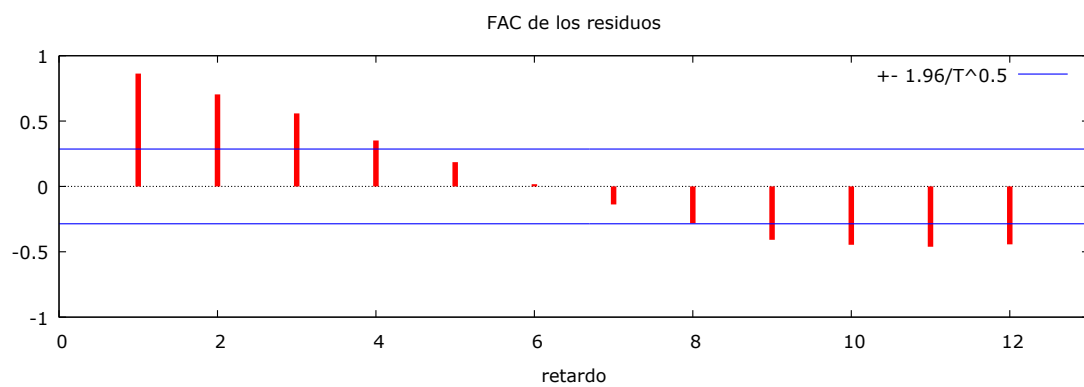
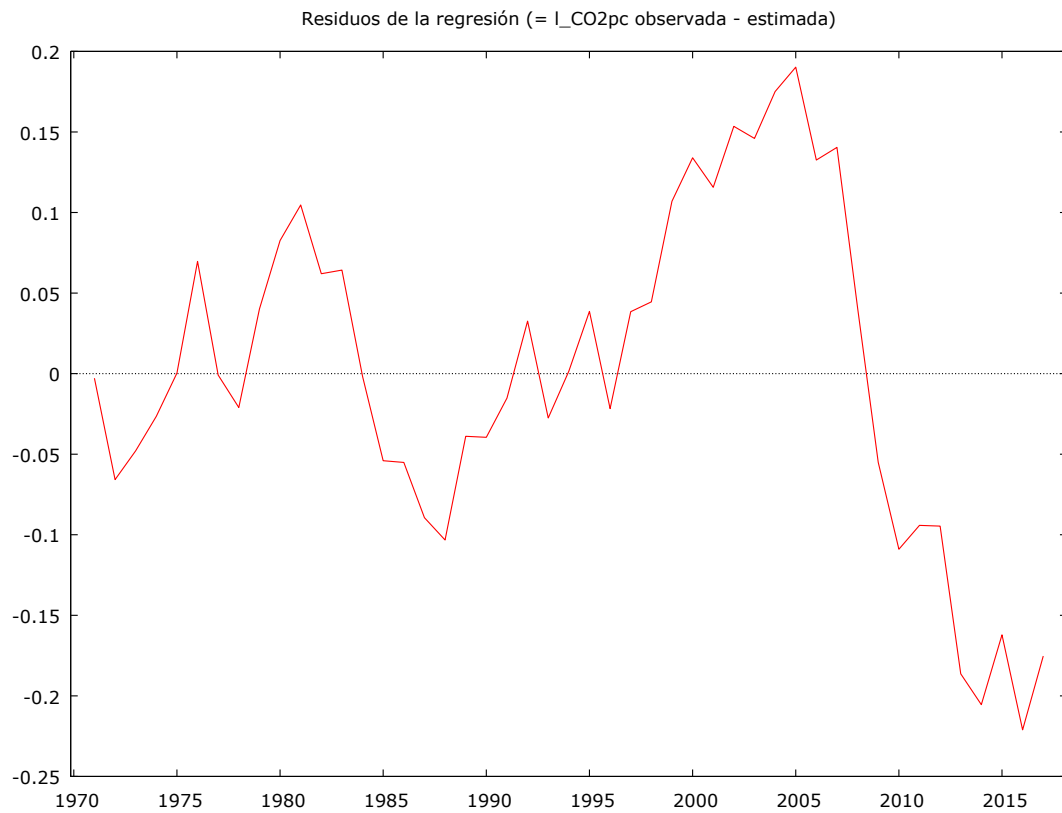
con valor  $p = P(F(4, 39) > 25.2227) = 2.29505e-010$

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a D8 -

Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]

Estadístico de contraste:  $F(4, 39) = 25.2227$

con valor  $p = P(F(4, 39) > 25.2227) = 2.29505e-010$



Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1971-2017 (T = 47)

Variable dependiente: l\_CO2pc

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
-----				
const	-4.77434	3.05385	-1.563	0.1251
l_GDPpc	3.49795	1.95041	1.793	0.0798 *
lGDPpc2	-0.458950	0.309525	-1.483	0.1453

Media de la vble. dep. 1.673434 D.T. de la vble. dep. 0.193110

Suma de cuad. residuos 0.491780 D.T. de la regresión 0.105720

R-cuadrado 0.713315 R-cuadrado corregido 0.700284

F(2, 44) 54.73933 Valor p (de F) 1.16e-12

Log-verosimilitud 40.46689 Criterio de Akaike -74.93378

Criterio de Schwarz -69.38334 Crit. de Hannan-Quinn -72.84511

rho 0.912455 Durbin-Watson 0.210287

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]

Estadístico de contraste:  $F(2, 42) = 0.68199$

con valor  $p = P(F(2, 42) > 0.68199) = 0.51112$

Contraste de heterocedasticidad de White -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $LM = 23.9494$



con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(4) > 23.9494) = 8.17607\text{e-}005$

Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $LM = 16.1157$

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(2) > 16.1157) = 0.000316615$

Contraste LM de autocorrelación hasta el orden 1 -

Hipótesis nula: No hay autocorrelación

Estadístico de contraste:  $LMF = 171.684$

con valor  $p = P(F(1, 43) > 171.684) = 1.30225\text{e-}016$

Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2005 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(3, 41) = 9.57899$

con valor  $p = P(F(3, 41) > 9.57899) = 6.43402\text{e-}005$

Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2007 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(3, 41) = 20.6053$

con valor  $p = P(F(3, 41) > 20.6053) = 2.67338\text{e-}008$

Contraste QLR de cambio estructural -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $\text{chi-cuadrado}(3) = 103.501$  en la observación 2009

con valor  $p$  asintótico =  $9.94379\text{e-}022$

Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2009 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(3, 41) = 34.5004$

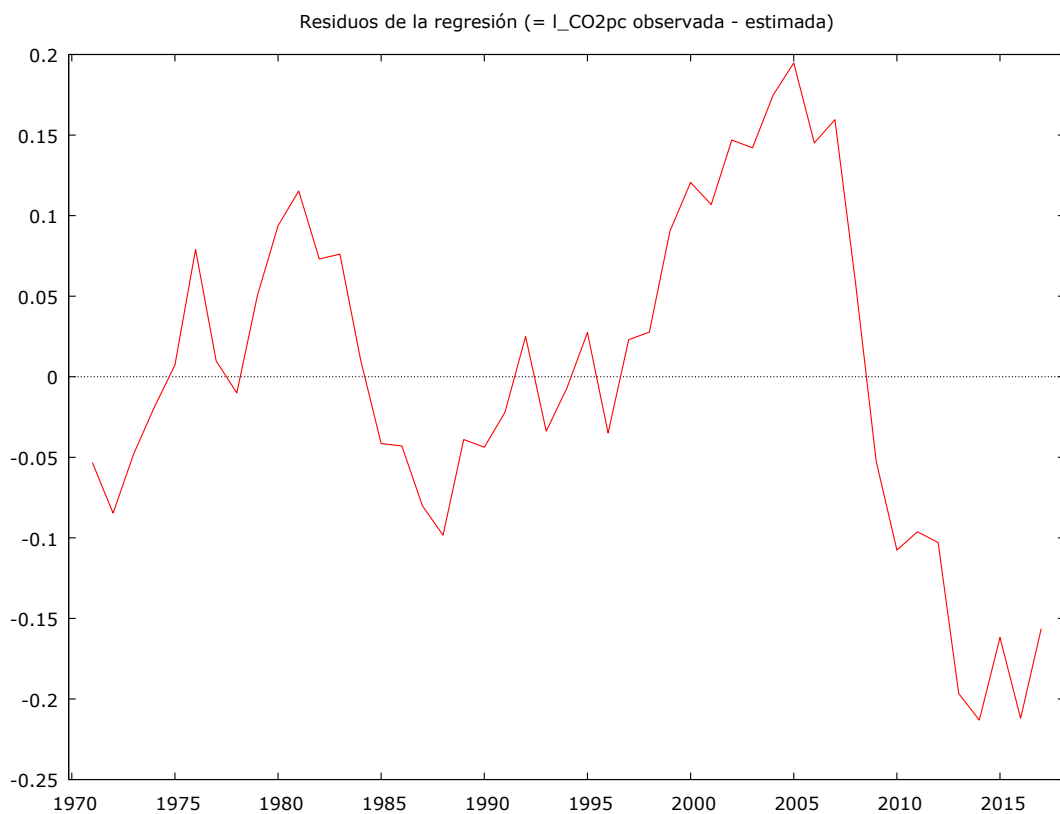
con valor  $p = P(F(3, 41) > 34.5004) = 2.70609e-011$

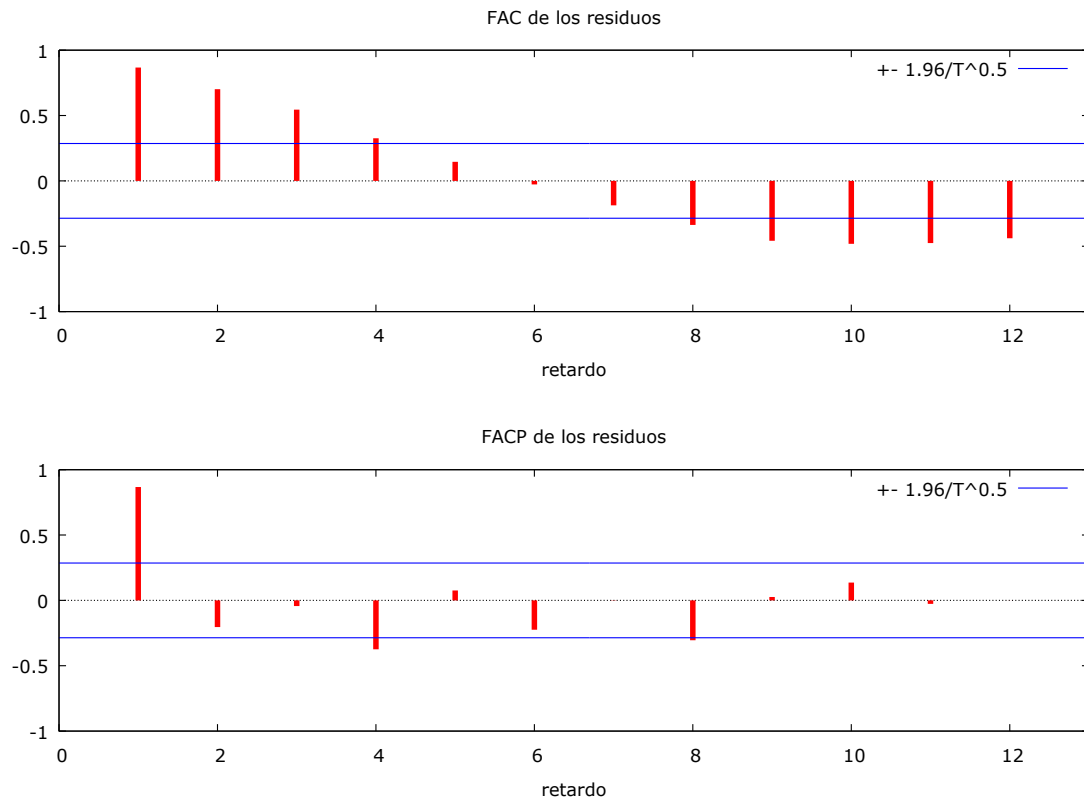
Contraste de Chow de cambio estructural en la observación 2008 -

Hipótesis nula: [No hay cambio estructural]

Estadístico de contraste:  $F(3, 41) = 28.33$

con valor  $p = P(F(3, 41) > 28.33) = 4.37156e-010$





Modelo 3: MCO, usando las observaciones 1971-2017 ( $T = 47$ )

Variable dependiente:  $\ln CO_2pc$

	coeficiente	Desv. típica	Estadístico t	valor p
-----				
const	-6.84787	0.553773	-12.37	9.42e-016
$\ln GDPpc$	0.913091	0.156814	5.823	6.62e-07
$\ln ELECpc$	0.678756	0.0940832	7.214	6.30e-09
time	-0.0310268	0.00224435	-13.82	2.00e-017

R-cuadrado    0.944851                      D.T. de la regresión    0.046905

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]

Estadístico de contraste:  $F(2, 41) = 0.671288$

con valor  $p = P(F(2, 41) > 0.671288) = 0.516577$

Contraste de ARCH de orden 1 -

Hipótesis nula: [No hay efecto ARCH]

Estadístico de contraste:  $LM = 5.03322$

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(1) > 5.03322) = 0.0248656$

Contraste de heterocedasticidad de White (cuadrados sólo) -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $LM = 3.0254$

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(6) > 3.0254) = 0.805652$

Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $LM = 1.91952$

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(3) > 1.91952) = 0.589277$

Contraste de normalidad de los residuos -

Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]

Estadístico de contraste:  $\text{Chi-cuadrado}(2) = 1.57021$

con valor  $p = 0.456072$

Contraste LM de autocorrelación hasta el orden 1 -

Hipótesis nula: No hay autocorrelación

Estadístico de contraste: LMF = 24.505

con valor  $p = P(F(1, 42) > 24.505) = 1.25099e-005$

Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1971-2017 ( $T = 47$ )

Variable dependiente: l\_CO2pc

Desviaciones típicas HAC, con ancho de banda 2 (Kernel de Bartlett)

	coeficiente	Desv. típica	z	valor p
-----				
const	-2.52309	0.526436	-4.793	1.64e-06
l_GDPpc	1.76103	0.126184	13.96	2.89e-044
l_RENVpc	-0.210386	0.0644771	-3.263	0.0011
time	-0.0145336	0.00418920	-3.469	0.0005
R-cuadrado	0.924197	D.T. de la regresión		0.054991

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]

Estadístico de contraste:  $F(2, 41) = 1.56567$

con valor  $p = P(F(2, 41) > 1.56567) = 0.221184$

Contraste de heterocedasticidad de White (cuadrados sólo) -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste: LM = 12.0588

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(6) > 12.0588) = 0.0606701$

Contraste de heterocedasticidad de Breusch-Pagan -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste:  $LM = 9.08648$

con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(3) > 9.08648) = 0.0281629$

Contraste de normalidad de los residuos -

Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]

Estadístico de contraste:  $\text{Chi-cuadrado}(2) = 0.474794$

con valor  $p = 0.788678$

## Bibliografía

- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- ESTRATEGIA ENERGÉTICA ESPAÑOLA A MEDIO Y LARGO PLAZO: MIX Y MERCADOS* *Análisis comparado y propuestas*. (n.d.).
- Kaika, D., & Zervas, E. (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory-Part A: Concept, causes and the CO2 emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392–1402. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.131>
- Tema, L. (n.d.-a). *Introducción ¶ on Efectos sobre la estimación ¶ on mco*.
- Tema, L. (n.d.-b). *Introducción*.
- Zilio, M. I. (2012). The environmental Kuznets curve: The validity of its foundations in developing countries. *Cuadernos de Economía*, 35(97), 43–54. [https://doi.org/10.1016/S0210-0266\(12\)70022-5](https://doi.org/10.1016/S0210-0266(12)70022-5)
- European Commission*. (s.f.). Recuperado el 16 de Junio de 2020, de [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en)
- IEA*. (s.f.). Recuperado el 13 de Junio de 2020, de <https://www.iea.org/>
- Miteco. (2020). *Miteco*. Recuperado el 16 de Junio de 2020, de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/el-mento-acuerdo-paris.aspx#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20entr%C3%B3,12%20de%20enero%20de%202017>.